

TARTU ÜLIKOOL
LOODUS- JA TEHNOLOOGIATEADUSKOND
Tehnoloogiainstituut

Kalle-Gustav Kruus

**JALGPALLIROBOTI LÖÖGIMEHCHANISMI
ELEKTROONIKALAHENDUS**

Bakalaureusetöö arvutitehnikas (12 EAP)

Juhendaja:
Karl Kruusamäe

Tartu 2013

Sisukord

1.	Sissejuhatus	4
2.	Valdkonna ülevaade	5
2.1.	Robotex	5
2.2.	Robotex Tartu Ülikooli kontekstis	6
2.3.	Modulaarne robotika Robotexi kontekstis	7
2.3.1.	Liikumismoodul	9
2.3.2.	Keremoodul	10
2.3.3.	Pallihaldusmoodul	10
2.3.3.1.	Triblajamoodul	10
2.3.3.2.	Löögimoodul	11
2.3.4.	Standardlahendus	11
3.	Üldkasutatud löögimehhanismid	12
3.1.	Vedrupõhised süsteemid	12
3.2.	Pneumaatilised süsteemid	12
3.3.	Solenoidipõhised süsteemid	13
3.4.	Järeldus	14
4.	Löögimooduli elektroonika valmistamine	15
4.1.	Nõuded löögimooduli elektroonikale	15
4.2.	Elektroonika disain	15
4.2.1.	Kõrgepinge osa	16
4.2.1.1.	Kondensaatori laadimine	16
4.2.1.2.	Kõrgepinge kondensaatori tühjendamine	17
4.2.1.3.	Toitepinge polaarsuse kaitse	19
4.2.1.3.	Mootori juhtimine	20
4.2.2.	Madalpinge osa	21
4.2.2.1.	Galvaaniline lahtisidestamine arvuti suhtluse ja kõrgepinge vahel	21
4.2.2.2.	Suhtlus arvutiga	22
4.3.	Trükkplaadi disain	23
4.4.	Elektroonika tootmine	25
4.5.	Testimine	27

4.5.1. Testimisfaasis tuvastatud vead.....	28
4.5.2. Kasutamisel ilmnenud vead	28
5. Tulemused ja arutelu.....	30
6. Kokkuvõte.....	32
Viited	33
Abstract.....	36

1. Sissejuhatus

Tartu Ülikooli robotikaalase hariduse üks tähtsamaid alustalasid on õppeaine LOFY.03.033 Robootika praktikum. Robootika praktikum pakub arvutitehnika õppekava läbivatele tudengitele võimalust õpitud teooriat praktikasse rakendada ning panna end proovile robotikavõistlusel Robotex. Varasemalt antud õppeaine käigus loodud robotid olid nii meeskondade kui ka aastate lõikes unikaalsed ja ajapuuduse tõttu ka võrdlemisi puudulikult dokumenteeritud. Seda tingis asjaolu, et Robotexi formaat nägi iga aasta ette uue võistlusülesande püstitamist. Ent viimase kolme aasta jooksul tehtud muudatused Robotexi reeglites on esmakordselt loonud olukorra, kus on võimalik eelmise aasta võistlusrobotit kasutada ka järgneva aasta võistlusel.

Õppekvaliteedi ja võistlustulemuste parendamise eesmärgil viidi Robootika praktikumi korralduses sisse muudatus, millest johtuvalt arendatakse välja kindel kogus robotika mooduleid. Nn moodulid on funktsionaalsed, standardiseeritud ja hästi dokumenteeritud võistlusroboti osad, mida kasutades on võimalik ka vähikul ühe semestri jooksul valmis saada Robotexi võistlusülesannet täitev robot.

Moodulite väljatöötamisega alustati juba 2011. aastal, aga hetkeseisuga pole veel valminud piisavalt mooduleid, et komplekteerida kogu robotit.

Käesoleva töö eesmärgiks on välja töötada ühe taolise mooduli – löögimooduli – elektroonika, mida on võimalik arvuti poolt juhtida ning mille kasutamine on piisavalt ohutu ja lihtne, et sobib algajale robotikahuvilisele tudengitele.

Käesolev lõputöö on jaotatud kolmeks osaks, millest esimeses osas (pt 2) antakse ülevaade Robotexi võistlusreeglitest ja võistlusülesande täitmiseks vajalikest moodulitest. Järgnevalt tutvustatakse lähemalt erinevaid jalgpallirobotite löögimehhanisme (pt 3) ning peatükis 4 kirjeldatakse detailselt valminud elektroonikalahenduse nõudeid, disaini, valmistamisprotsessi ja tootmise käigus imnenud probleeme.

2. Valdkonna ülevaade

2.1. Robotex

Robotex on Tallinna Tehnikaülikooli, Tartu Ülikooli ja IT Kolledži korraldatud avalik rahvusvaheline robotivõistlus, mis toimub alates 2001. aastast [1]. Võistlused toimuvad sügiseti novembri lõpus või detsembri alguses. Esimestel aastatel kuulutati igal suvel välja uus võistlusülesanne, mis oli tihti valitud selliselt, et varasematel aastatel võistlenud robotitele oleks, ilma põhjalike ümberehitusteta, uut ülesannet keeruline täita. Seega eeldati, et võistluse tarbeks valmib täiesti uus robot, pakkudes nii osalevatele üliõpilastele võimalust õppida robotiehitust baaskomponentidest. Robotexi robotite üks peamine nõue on autonoomsus, st ülesande lahendamiseks ei tohi kasutada kaugjuhtimist ega robotist väljaspool asuvat arvutustehnikat.

2009. aastal oli esimest korda võistlusülesandeks robotite-vaheline jalgpall [2]. Reeglite koostamisel võeti eeskujuks ülemaailmselt populaarne võistlusformaat „RoboCup Middle Size League“ (edaspidi MSL). Robotex 2009. aasta reeglid kirjeldavad võistlusülesannet järgnevalt: „Kaks robotit võistlevad korraga ühel väljakul, millel asetsevad 10 palli. Eesmärgiks on lüüa võimalikult palju palle vastase väravasse“ [3]. Kõige suuremateks erinevusteks MSL ja Robocupi vahel on nii väljakul leiduvate robotite kui ka pallide arv. Ülevaate tähtsamatest erinevustest kahe võistlusformaadi vahel leiab tabelist 1.

Kuna jalgpall osutus väga populaarseks nii publiku kui ka osalejate seas, siis on Robotexi võistlusülesanne püsinud viimastel aastatel üldjoontes muutumatu. Pärast iga võistlust tehakse vastavalt korraldajate, kohtunike ning osalejate ettepanekutele reeglites muudatusi ja/või täiendusi. Käesoleva töö kirjutamise hetkeks on kõige enam muudatusi reeglitesse sisse viidud väljakut puudutavates peatükkides. Roboti ehitust kirjeldavaid nõudeid on alates 2009. aastast täpsustatud, et vältida väärtõlgendusi. Seega on tekkinud meeskondadel võimalus arendada oma võistlusrobotit aastast-aastasse. Hetke trendide järgi võib eeldada, et see jääb nii veel ka järgnevateks aastateks.

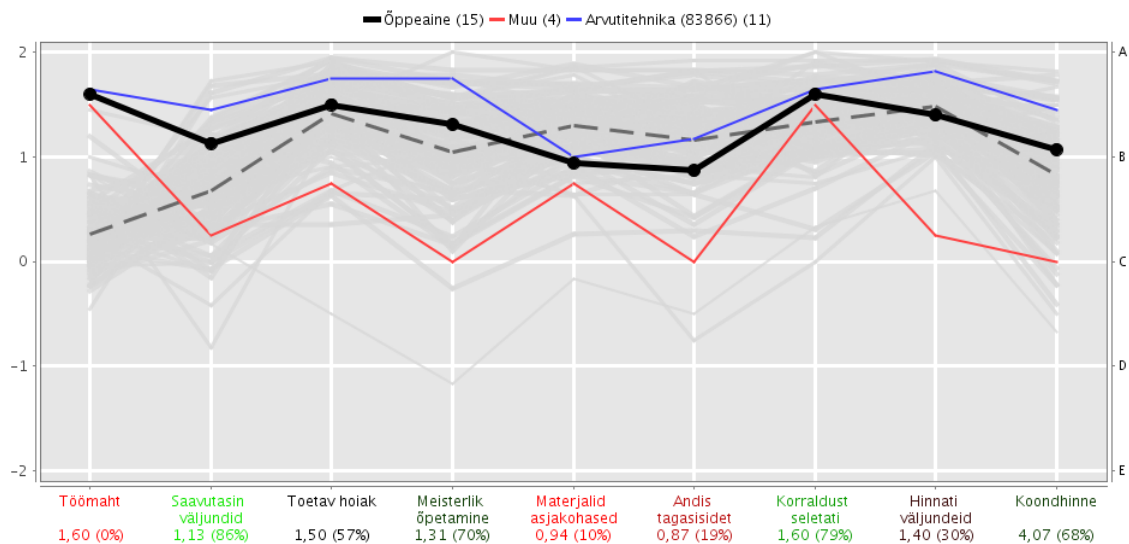
Tabel 1. Robotex ja RoboCup Middle Size League 2009 aasta reeglite tähtsate erinevuste võrdlus [3] [4].

	Robocup MSL 2009	Robotex 2009
Väljaku suurus	Pikkus: 8m - 18m Laius: 6m -12m	Pikkus: 3 m Laius: 2 m
Väljaku materjal	Roheline vaip	Roheliseks värvitud saepuruplaat
Väljaku märgendus	FIFA reeglitele sarnane (erinevad mõõtmetes) märgendus	Ääred märgistatud valgete seintega
Robotite arv väljakul	2 meeskonda, 5 robotit meeskonna kohta	2 meeskonda; 1 robot meeskonna kohta
Pallide arv väljakul	1	10
Pallide spetsifikatsioon	oraanz FIFA standard suurusele (<i>size 5</i>) vastav pall	golfipall
Robotite mõõdud	Robot peab mahtuma kuubikusse järgnevate mõõtmetega: Kõrgus: 40 cm kuni 80 cm Põhja laius ja pikkus: 30 cm kuni 50 cm	Robot peab mahtuma järgnevate mõõtmetega silindri sisse: Kõrgus: 35 cm Põhja diameeter: 35 cm
Robotite arvutustehnika	On lubatud kasutada välist arvutit.	Peab ära mahtuma roboti mõõtmetesse; kaugsuhtlus on keelatud

2.2. Robotex Tartu Ülikooli kontekstis

Tartu Ülikooli tudengid saavad Robotexil osaleda õppeaine LOFY.03.033 Robootika praktikum (6 EAP) raames. Robootika praktikum on sügissemestril toimuv kursus, mille eesmärgiks on algajate robootikute ettevalmistamine võistluseks. Õppeaine käigus moodustatakse tudengitest võistkonnad, kelle ülesandeks on ehitada võistlusvalmis robot ning osaleda Robotexi lõppvõistlusel Tallinna Tehnikaülikoolis. Antud kursusel osaleb iga aasta keskmiselt 20 üliõpilast ning roboti ehitamise käigus omandavad tudengid praktilisi oskusi ja teadmisi elektroonikas, programmeerimises, mehaanikas, meeskonnatöös ja projektijuhtimises.

Tartu Ülikoolis on meeskonnad olnud reeglina oma lahendustes vabad, mistõttu on iga valminud robot unikaalne. Kuna tegemist on ajamahuka õppeainega (sisuliselt kahe kuuga peab valmima toimiv robot), siis algajatel robotikutel võib ajast puudu tulla. See aga tähendab, et tihti minnakse lõppvõistlusele poolvalmis või praktiliselt testimata robotitega. Taoliste juhtumite vähendamiseks tehti 2012. aastal kursuse korralduses muutus, mille kohaselt jagati osalevatele tudengimeeskondadele kätte mitmeid komponentide valmislahendusi ehk mooduleid. Moodulid teenivad kahte eesmärki: esiteks säästetakse aega lahenduste väljatöötamise pealt ning teiseks võimaldas moodulite kasutamisega kaasnenud standardsus, et probleemide tekkel said meeskonnad üksteist aidata. Selle aasta TÜ kursus oli viimase 3 aasta edukaim nii võistlustulemuste [5] kui ka tudengite tagasiside poolest (Joonis 1).



Joonis 1. Tartu Ülikooli õppeinfosüsteemi 2013/2013 õa sügissemestri tudengite tagasiside õppeainele LOFY.03.033 Robotika praktikum. Hall katkendlik joon tähistab arvutitehnika õppekava ainete keskmist ning sinine joon arvutitehnika tudengite poolt antud tagasiside antud kursusele. Võrreldes õppekava keskmisega on nii väljundite saavutamine kui ka koondhinne märgatavalt kõrgema hinnanguga.

2.3. Modulaarne robotika Robotexi kontekstis

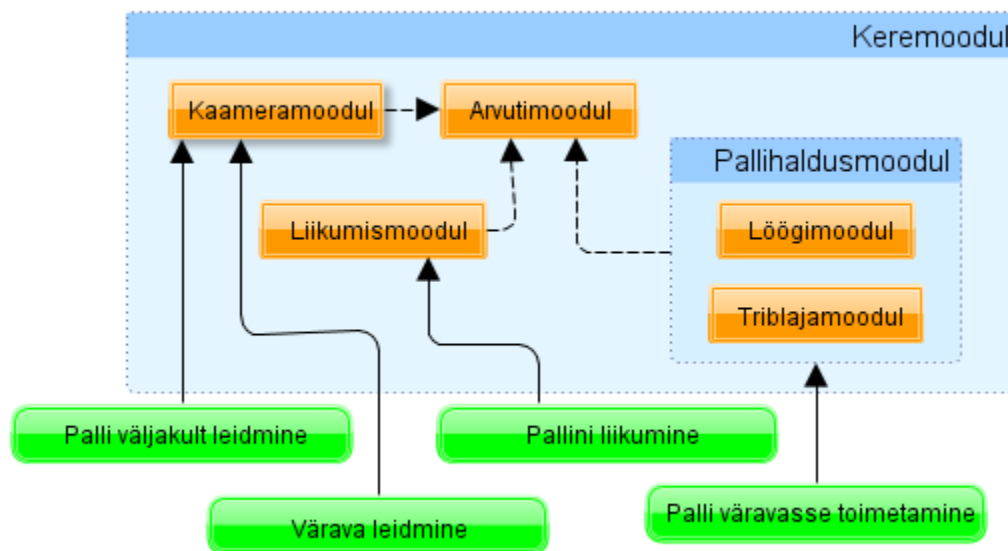
Robotika süsteeme on pea alati võimalik jagada väiksemateks alamsüsteemideks, mis täidavad mingisugust spetsiifilist ülesannet ja ühilduvad tervikuga läbi varem paika seatud standardite. Standardid võivad vastavalt vajadusele kirjeldada kõike alates alamsüsteemi mõõtmetest ja mehaanilisest kinnitusest ning lõpetades toitepingete ja suhtlusprotokollidega.

Suurema süsteemi väiksemateks osadeks jagamine lihtsustab terviku väljatöötamist ja kasutamist. Lisaks tähendab standardite olemasolu, et süsteem või tema alamsüsteemid on ka taaskasutatavad teistes disainides.

Ühte sellist alamsüsteemi nimetatakse käesolevas lõputöös *mooduliks*.

Eduka soorituse tarbeks tuleb Robotexi võistlusrobotil autonoomselt hakkama saada järgnevate ülesannetega:

- 1) palli väljakult leidmine;
- 2) pallini liikumine;
- 3) värava leidmine;
- 4) palli väravasse toimetamine.



Joonis 2. Ülesannete ja moodulite suhete plokskeem.

Joonis 2 illustreerib, milliseid moduleid on vaja eelmainitud ülesannete täitmiseks ja kuidas on need üksteisega seotud. Kõiki moduleid ühendab mehaaniliselt keremoodul ning arvutimooduli ülesandeks on kogu roboti, st kõigi moodulite juhtimine.

2.3.1. Liikumismoodul

Liikumismooduli eesmärgiks on võimaldada roboti liikumist ühest ruumpunktist teisse. Selle saavutamiseks kasutatakse enamasti elektrimootoreid (sisepõlemismootorite kasutamine on Robotexi reeglitega keelatud), mille külge ühendatakse otse või sobiva ülekandega rattad ning neid juhitakse vastava elektroonikaga. Liikumismoodulid võib jagada kaheks: tava- ja omniliikumist võimaldavad.

Praegu kasutusesolev liikumismoodul töötati TÜ-s välja 2011. aastal õppeaine „Robotika projekt“ raames. Liikumismooduli võimaldab mootorite juhtimist arvutiga. Selle saavutamiseks disainiti elektroonika, mis suudab suhelda arvutiga üle USB-liidese ning arvuti poolt saadud juhtimiskäsud tõlkida mootori pöörlemise suunaks ja kiiruseks. Lisaks sisaldab liikumismoodul ka elektrimootorit koos kodeerimiseadmega ja rattaid. Rataste valikus on omnirattad (Joonis 3) ja tavalised rattad. Antud moodulit kasutasid kõik 2012. aasta TÜ Robotexi võistlusrobotid.

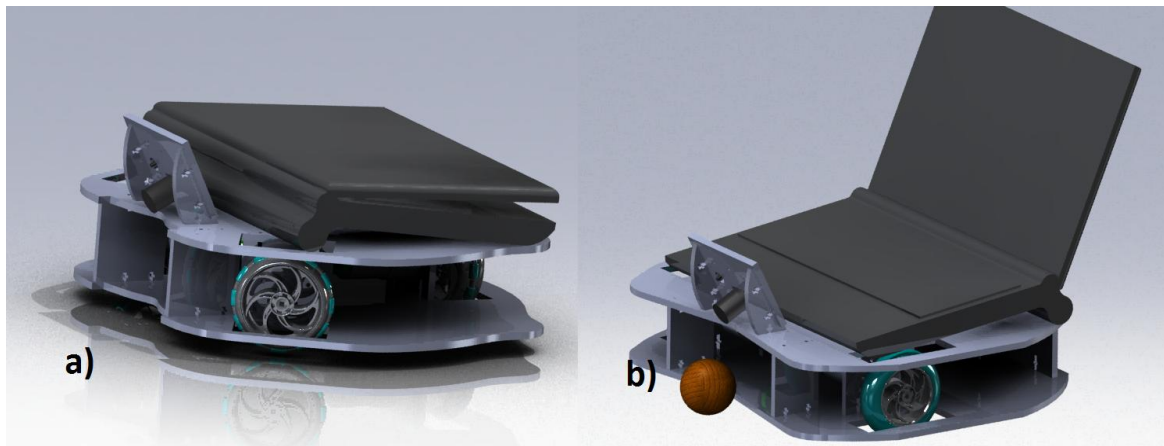
Omnirattad on rattad, mis lisaks otse veeremisele on suutelised ka veeremissuunale risti liuglema. Omnirataste õige paigutamisega on võimalik saavutada platvorm, mis suudab liikuda mistahes suunas samal ajal suvalist sihti hoides. Enamik omnisuunalisi platvorme kasutavad kolme ratast, mis on paigutatud 120 kraadiste vahedega (Joonis 5). Omnirataste eeliseks on suur liikumisvabadus, ent taolise manööverdamissuutlikkuse hinnaks on juhtimisloogika keerukus ning teatav tippkiiruse kadu.



Joonis 3. Omniratas.

2.3.2. Keremoodul

Keremooduli eesmärgiks on pakkuda lihtsat, kuid töökindlat raami jalgpalliroboti jaoks jättes võimalikult palju ruumi roboti edasiarenduseks. Moodul koosneb pleksiklaasist lõigatud paneelidest, mille kokkupanekuks on tarvis ainult kruvikeerajat ja kruve. Kere mahutab lisaks liikumismoodulile veel 10-tollise ekraanidiagonaaliga sülearvuti ning pallihaldusmooduli. 2012. aasta sügisel said TÜ võistkonnad valida kahe keremooduli vahel – omniplatvorm ja nn diferentsiaalplatvorm (Joonis 4).



Joonis 4. Keremooduli kaks varianti: a) omniplatvorm; b) diferentsiaalplatvorm.

2.3.3. Pallihaldusmoodul

Pallihaldusmooduli eesmärgiks on määruspäraselt [6] palle võistlusväljakul ringi liigutada. Tegemist on tõenäoliselt kõige keerulisema osaga jalgpallirobotist, sest antud moodul peab suutma palli haarata, hoida ja lüüa. Mooduli keerukuse tõttu on tema väljatöötamine jagatud alamooduliteks.

- Triblajamoodul
- Löögimoodul

2.3.3.1. Triblajamoodul

Triblajamoodul peab olema ühilduv keremooduliga. Mooduli ülesandeks on reeglitega vastavalt viisil palli haaramise võimaldamine. Moodul on hetkel väljatöötamise faasis.

Robotexi reeglid keelavad palli hoida nii, et roboti ülesse tõstmisel pallid roboti külge jäävad. Sellele probleemile on siiani leitud vaid üks töötav lahendus [7]: triblaja haarab palli rullikuga, mis palli roboti suunas keerutab. Maksimaalse haakuvuse tarbeks on rullik

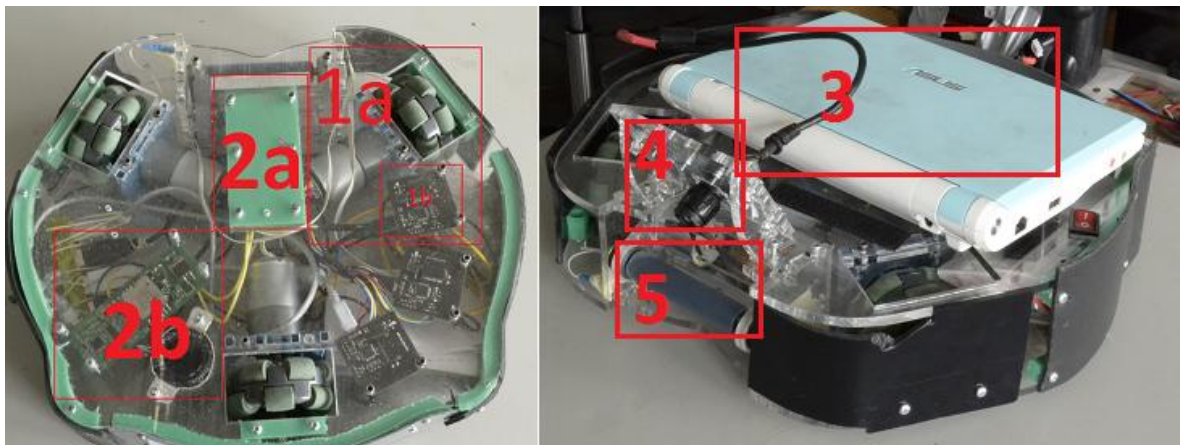
enamasti kaetud silikooni või sarnaste omadustega materjaliga. Keerutades palli vastu roboti kere on võimalik reegleid rikkumata palli manööverdamine väravale löögiks sobivasse positsiooni.

2.3.3.2. Löögimoodul

Löögimooduli eesmärgiks on anda standardsuurusega golfipallile vähemalt 0.25 N·s suurune impulss. Mooduli konstruktsioon peab ühilduma keremooduliga. Mooduli elektroonika sisaldab löögimehaanika elektroonilist ajurit ning võimaldab moodulit üle USB juhtida. Kõige levinumad löögimehhanismid on kas vedru- või solenoidipõhised, kuid on kasutatud ka pneumaatilisi süsteeme. Kuna käesoleva lõputöö eesmärgiks on löögimooduli elektroonika disain ja valmistamine, siis tuuakse peatükis 3 detailne ülevaade levinumatest löögimehhanismidest.

2.3.4. Standardlahendus

Robotexi ülesanne on püsinud sisuliselt muutumatuna juba 3 aastat, mistõttu on välja kujunenud ka nn standardlahendus, mida kasutab suur osa võistlevatest robotitest. Nimetatud standardlahenduses on kasutusel liikumiseks omnirattad (Joonis 5-1a), pallide leidmiseks veebikaamera (Joonis 5-4), veebikaamerast saadud kujutise töötlemiseks PC-tüüpi arvuti (Joonis 5-3), pallide haaramiseks triblaja (Joonis 5-5) ning pallide löömiseks solenoidkahur (Joonis 5-2a).



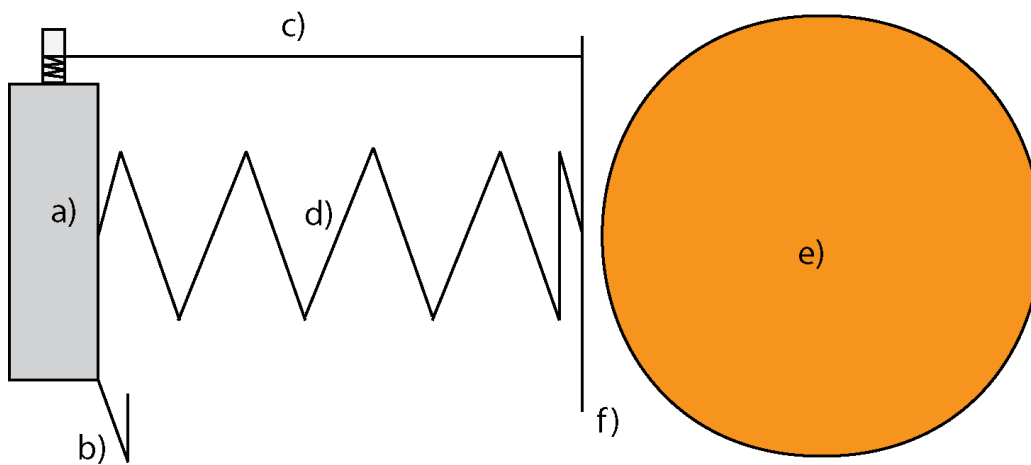
Joonis 5. Tartu Ülikooli meeskonna Kübaratrikk robot, mis näitlikustab moodulitest koosnevat standardlahendust. 1a - liikumismooduli mehaanika; 1b - liikumismooduli elektroonika; 2a - löögimooduli mehaanika; 2b - löögimooduli elektroonika; 3 - arvutimoodul; 4 - kaameramoodul; 5 - triblajamoodul.

3. Üldkasutatud löögimehhanismid

Pea iga Robotexil ja Robocupil osalev meeskond on iseseisvalt välja töötanud enda löögimehhanismi, mis erineb veidi teistest löögimehhanismidest. Hea löögimehhanism on kompaktne, lihtsasti kasutatav ja valmistatav, suure löögisagedusega ja suuteline vastavalt olukorrale löögitugevust muutma. Eelmainitud kriteeriumite järgi edukad süsteemid jaotuvad laialdaselt kolme kategooriasse: vedrupõhised süsteemid, pneumaatilised süsteemid ja solenoidipõhised süsteemid.

3.1. Vedrupõhised süsteemid

Vedrupõhised süsteemid kasutavad löögi jaoks vajaliku energia salvestamiseks tugevaid vedrusid, mis enne lööki mootorite poolt vinnastatakse. Löögi sooritamiseks vallandatakse vedrut lukustav riiv ning vedru lükkab löökraua suure kiirusega vastu palli (Joonis 6). Vedrusse salvestatav energia on suuteline palli kiirendama hetkekiiruseni kuni 8 m/s [8]. Vedru võrdlemisi pikk (6 s) vinnastamisaeg tähendab suhteliselt madalat löögisagedust. Samuti on tegemist mehaaniliselt keerulise süsteemiga, millel on mitmeid liikuvaid osasid, mis peavad taluma suuri jõude. Seega on vedrupõhiste süsteemide disainimine ja valmistamine võrreldes teiste üldkasutatud löögimehhanismidega palju keerukam.



Joonis 6. Vedrupõhine löögimehhanism. a) motor; b) löökraua lukustamise riiv; c) vedru vinnastamise mehhanism; d) vedru; e) pall; f) löökraud [8].

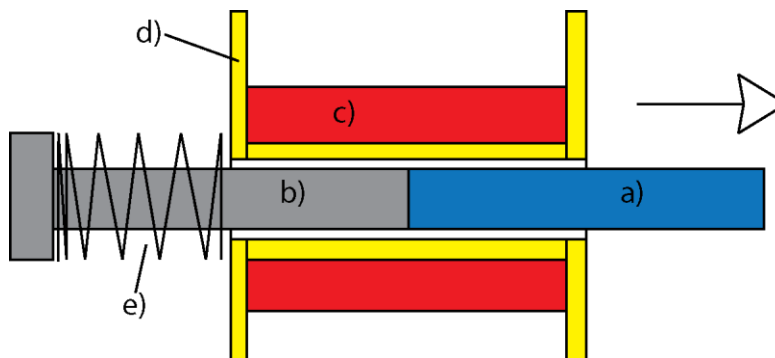
3.2. Pneumaatilised süsteemid

Pneumaatilised süsteemid kasutavad energiaallikana suruõhuballooni, mida tuleb enamasti enne iga võistlust uuesti täita. Võimalik on kasutada ka eeltäidetud süsinikdioksiidiballoone [9]. Palli löömiseks juhitakse suruõhk solenoidventiilide abil kas otse pallini või vastava

löökrauni. Sobiva löögitugevuse saavutamiseks on vaja väga kõrget rõhku (nt ca 1 MPa [9]), mis vajab omakorda kaalult ning ruumalalt suuri balloone (rohkem kui 3,5 liitrit [9]). Löökide arv on äärmiselt piiratud ning iga järgnev löök on eelmisest nõrgem.

3.3. Solenoidipõhised süsteemid

Solenoidipõhiseid löögimehhanisme nimetatakse solenoidkahuriteks (ing *coil-gun*). Solenoidkahur on liikuva metallsüdamikuga suur elektromagnet (Joonis 7). Solenoidkahuri südamik koosneb kahest osast: ferromagneetiline osa ja diamagneetiline osa [8]. Palli löömiseks lülitatakse solenoidkahurisse vool, mis tekkinud magnetvälja abil ferromagneetilise osa südamikust solenoidi keskmesse tõmbab. Südamiku diamagneetilise osa pikendab südamikku, ilma tema magneetilisi omadusi märgatavalt muutmata ja kannab südamiku impulsi edasi pallile.



Joonis 7. Lihtsa solenoidkahuri läbilõige, kus südamiku liikumissuund on märgitud noolega. a) diamagneetiline osa südamikust; b) ferromagneetiline osa südamikust; c) mähis; d) nn niidirull, millele on keritud mähis; e) vedru, mis südamiku algasendisse tagastab.

Solenoidipõhised süsteemid kasutavad energia salvestamiseks kõrgepinge (200 V kuni 450V) kondensaatoreid (470 μF kuni 3 mF), mida löögi tarbeks läbi liikuva südamikuga solenoidi tühjendatakse. Solenoidipõhised süsteemid on suutelised pallile edastama mitukümmend džauli energiat ning seega kuuluvad võimsamate löögimehhanismide hulka [8]. Solenoidi ja südamiku valmistamine on märgatavalt lihtsam kui alternatiivsete süsteemide konstruktsioonid. Nii lööv osa kui ka energia salvesti on kaalult ja ruumalalt võrreldes teiste eespool kirjeldatud süsteemidega väiksemad. Löögi sageduse määrab ära kondensaatori laadimiskiirus, mida saab muuta vastavalt kondensaatori mahtuvusele ja laadimisvoolule. Antud süsteemi peamiseks puuduseks on suure mahtuvusega kõrgepinge kondensaatorite eluohtlikkus valesti käsitsemisel.

3.4. Järeldus

Võrreldes erinevate löögimehhanismide omadusi (Tabel 2) saab selgeks, et solenoidipõhine disain on kõige tõhusam. Tegemist on kõige võimsama, odavama, lihtsama ja kõrgema löögisagedusega mehhanismiga. Solenoidkahuripõhiste süsteemide ainsaks miinuseks on jõuallika ohtlikkus, aga ohutusnõuete hoolika järgimisega on võimalik õnnetuseriski minimaliseerida.

Tabel 2. Erinevate löögimehhanismide võrdlus [8].

	Pneumaatilised süsteemid	Kokku-võte	Vedrupõhised süsteemid	Kokku-võte	Solenoidkahurid	Kokku-võte
Löögi tugevus	Väike	-	Suur	+	Suur	+
Hind	Madal	+	Madal	+	Madal	+
Keerukuse aste	Madal	+	Kõrge	-	Madal	+
Löögitugevuse muudetavus	Väga keeruline teostada	-	Keeruline teostada	-	Lihtne teostada	+
Mass	Suur	-	Suur	-	Väike	+
Ruumi vajadus	Väga suur	-	Suur	-	Väike	+
Löögisagedus	Madal	+	Madal	-	Kõrge	+
Maksimaalne löökide arv	Sõltub paagi suurusest	+	Piiratud eelkõige toiteallika mahutavusega	+	Piiratud eelkõige toiteallika mahutavusega	+
Elukardetav	Ei	+	Ei	+	Jah	-

4. Löögimooduli elektroonika valmistamine

4.1. Nõuded löögimooduli elektroonikale

Lähtudes pallihaldussüsteemi nõuetest kirjeldati löögimehhanismi elektroonika moodulile järgnevad nõuded:

- 1) Moodul on solenoidkahuripõhine.
- 2) Suudab minimaalselt 3-elementilise liitium-polümeer aku toitel laadida välise kondensaatori mahtuvusega kuni 3000 μF pingeni 200 V vähemalt 5 s jooksul.
- 3) Toite valepidi ühendamise tõrkekindel, st suudab töötada sekkumiseta pärast toite tagurpidist ühendamist, juhul kui toide taas õigetpidi ühendatakse.
- 4) Võtab käske vastu ja väljastab infot kasutades USB 2.0 protokoll.
- 5) USB suhtlus on mooduli toitest galvaaniliselt lahti sidestatud (isolatsioonipinge > 1000 V).
- 6) Roboti ülejäänud elektroonika peab olema kaitstud välise kõrgepinge kondensaatori rikete puhul.
- 7) Kondensaatori tühjaks laadimine käib läbi induktiivse (kuni 100 mH) koormuse.
- 8) Solenoidi läbiva impulsi pikkust saab muuta vähemalt 10 μs sammudes.
- 9) Eesmärgipärasel kasutusel peab oht robotiehitaja või pealtvaataja elule olema minimaalne.

Mittekriitilised nõuded:

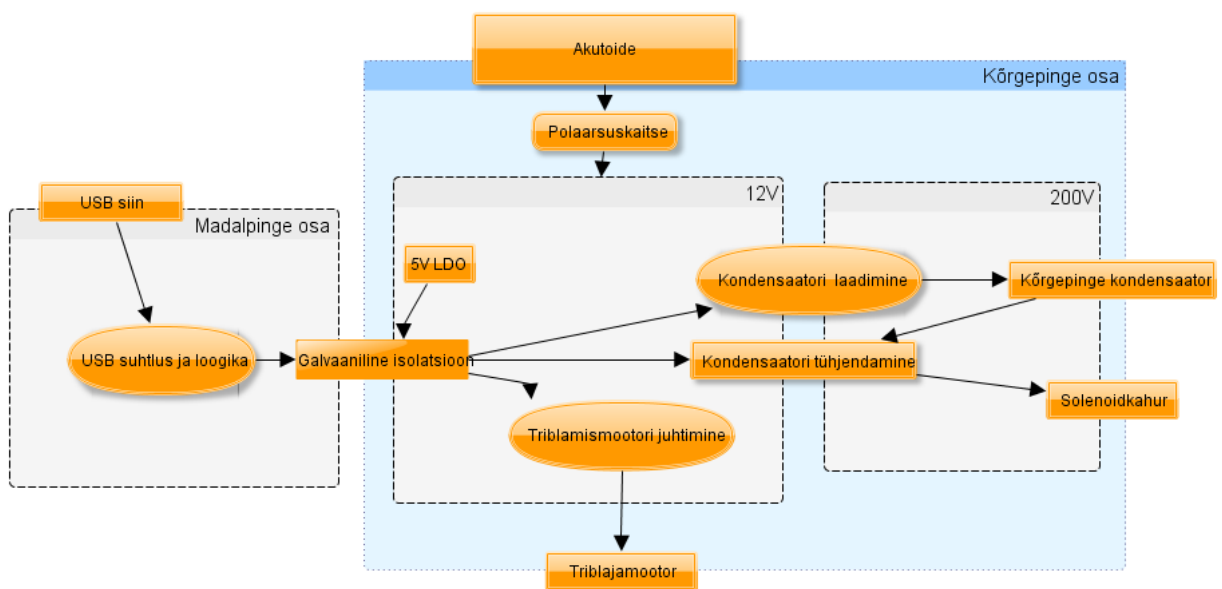
- 10) 100% pindmontaaž.
- 11) Trükkplaadi mõõtmed mahuvad pindalale 50×100 mm.
- 12) Võimaldab genereerida pulsilaiusmodulatsiooniga signaali amplituudiga 12 V (voolutarve kuni 1 A) triblaja mootori juhtimiseks.
- 13) Võimaldab lugeda pallianduri IS471F [10] seisundit.

4.2. Elektroonika disain

Nõuete täitmiseks on vaja disainida ja toota elektroonika plaat, mille sisenditeks on USB liides ja 3-elementiline liitium-polümeer aku. Plaadil on väljundid 200 V kõrgepinge kondensaatori jaoks, 12 V triblajamootori jaoks ning eraldi 200 V pistik solenoidi juhtimise tarbeks, mille toiteks on kõrgepinge kondensaator.

Ohutusnõuete täitmiseks jagatakse skeem kaheks eraldi toidetepingete ja maa-aladega piirkondadeks: madalpinge ja kõrgepinge osa (Joonis 8). Mõlemad osad on üksteisest elektriliselt eraldatud ning kasutavad signaalide vahetamiseks spetsiaalset suhtluskiipi. Nii kaitstakse USB liidesega ühendatud seadmeid lühiste ja muude tõrgete eest.

Kõrgepinge osa on omakorda jagatud 12 V ja 200 V alaks, mis pole galvaaniliselt lahti sidestatud, aga on üksteisest eraldatud füüsiliselt ning ühendatud läbi pinge ja voolu kaitsete.



Joonis 8. Süsteemi üldine plokkskeem.

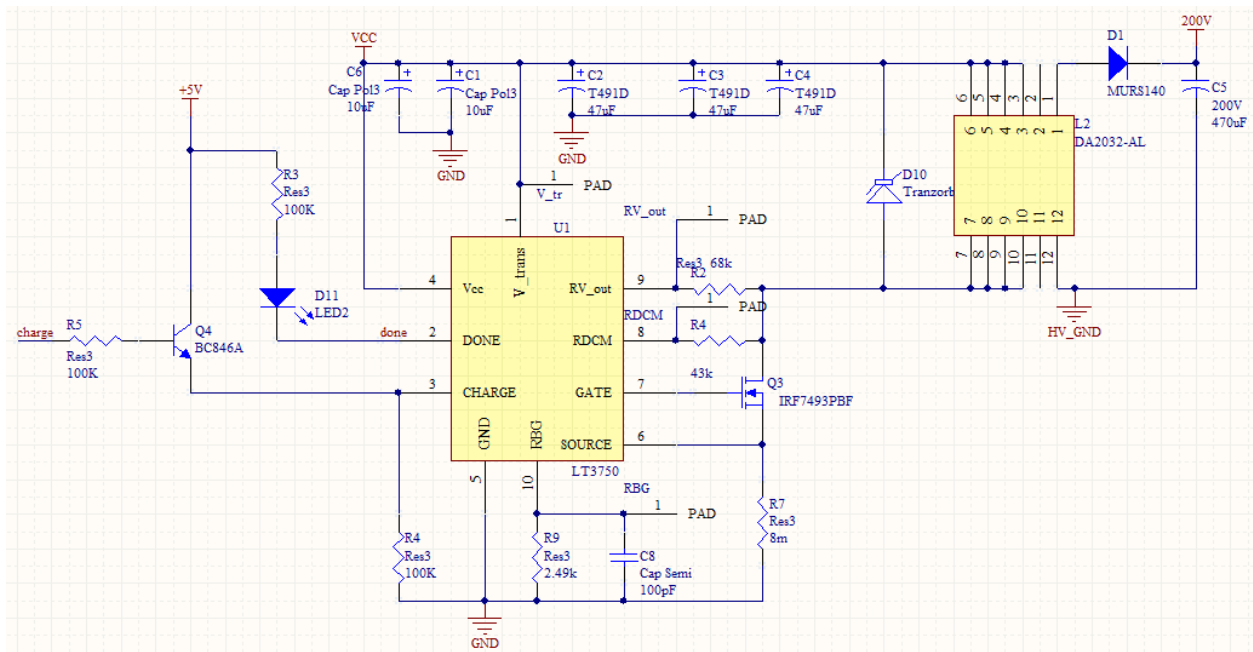
4.2.1. Kõrgepinge osa

4.2.1.1. Kondensaatori laadimine

Kondensaatori laadimise funktsionaalsuse teostamiseks valisin Linear Technologies toodetud mikroskeemi LT3750 [11]. Tegemist on integreeritud mikroskeemiga, mille ülesandeks on kõrgepinge ja suure mahtuvusega kondensaatorite kiire laadimine. Tootja dokumentatsiooni sõnul on antud skeem suuteline 12 V toitepinge juures 3 mF mahtuvusega kondensaatori 200 voldini laadima 3 sekundi jooksul. Vältimaks kondensaatori kahjustamist, suudab antud skeem automaatselt lõpetada laadimise, kui on saavutatud sobiv pinge.

Lisaks eelmainitud põhjustele valiti antud mikroskeem, sest sellega suhtlemine on lihtsustatud - laadimise alustamiseks tuleb seada laadimise signaal kõrgeks ning laadimise lõppedes tõmbab skeem nn DONE-väljundi madalaks.

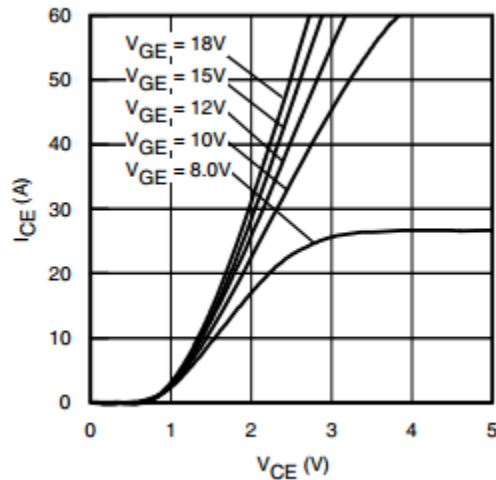
Skeem (Joonis 9) on koostatud tootja soovitude kohaselt koos mõne väikese muudatusega. DONE-väljundisse on ühendatud leed, et süsteemi olekust oleks võimalik saada kiire visuaalne ülevaade. Kõrgepinge tekitatakse voolu sisse- ja väljalülitamisel 1:10 transformatori primaarmähisesse. Mähisega on paralleelselt ühendatud TVSD (*Transient Voltage Supression Diode*), mis kaitseb ülejäänud skeemi komponente transformatori lülitamisest tekkivate vastupingete eest.



Pärast pikka otsingut otsustasin kasutada AUIRGS30B60K [13] IGBT-d. Tegemist on kõige suuremas laiatarbelises pindmontaaži pakendis (D2-Pak) IGBT-ga, mida ladustas elektroonika komponentide edasimüüja Farnell. Suure pakendi eeliseks on suur soojushajutusvõime. Lisaks suurele võimsustaluvusele kannatab see välja minimaalselt 600 V pinget lätte ja neelu vahel, 120 A induktiivseid vooluimpulsse ja selle maksimaalne sisselülitusviivis on 60 ns, maksimaalne väljalülitusviivis 200 ns [13].

Kadude vähendamiseks ja IGBT kaitsmise jaoks vajab IGBT adekvaatset tüürimist. Tootja andmete järgi talub AUIRGS30B60K kuni 50 A pidevat voolu juhul, kui paisu ja lätte vaheline potentsiaal on vähemalt 10 V (Joonis 11). Mida kiiremini õige paisupotentsiaal

saavutatakse, seda vähem aega viidab IGBT kõrge päripingelanguga olekus ja seda vähem võimsust IGBT soojuseks kulutab. Seega on vaja IGBT adekvaatseks tüürimiseks stabiilseid pingeid ja kiiret lülitust. Eelmainitud nõuete täitmiseks toodetakse IGBT-de tüürimiseks spetsiaalseid ajureid. Mina valisin MC33153 [14], sest tegemist on spetsiaalselt galvaaniliselt isoleeritud IGBT-de lülitamiseks disainitud mikroskeemiga.



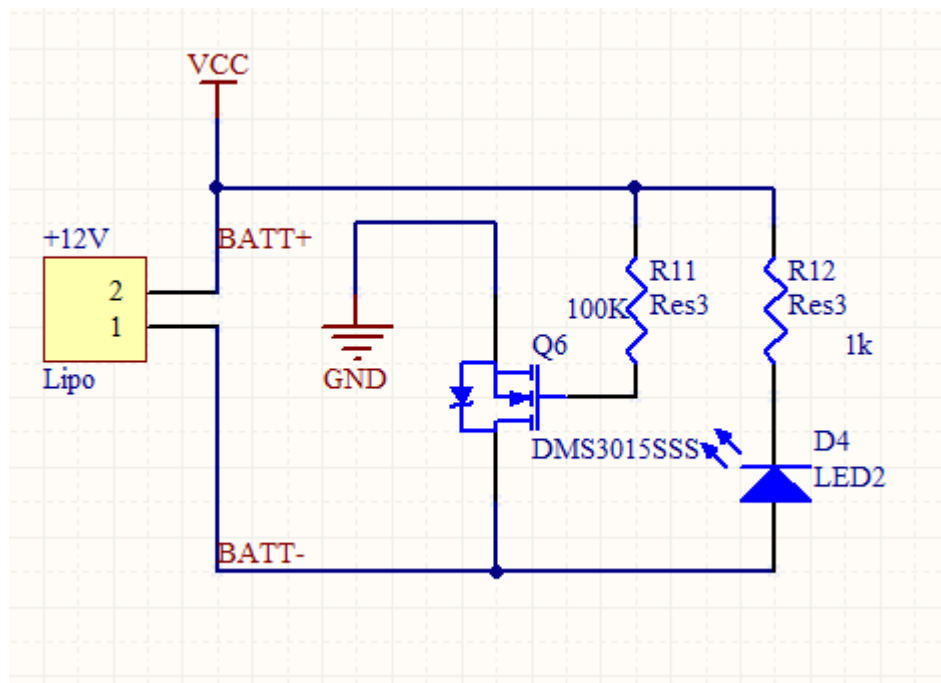
Joonis 11 . IGBT tunnusjoone sõltuvus paisupingest.

200 V osa skeemist ei ole võimalik täielikult muudest skeemi osadest lahti ühendada, sest IGBT ajur talub maksimaalselt 20 V toitepinget ning selle pinge tekitamine 200-st voldist ei ole otstarbekas. Seega toidetakse IGBT ajurit 12 V liini pealt. Ohutuse tõstmiseks on ajur 12 V liiniga ühendatud läbi Schottky dioodi ja kõrgepinge maa on ühendatud madalama pinge maaga läbi taastuva volukaitse.

4.2.1.3. Toitepinge polaarsuse kaitse

Ohutuse ja töökindluse tõstmiseks on toitepinge pistikule lisatud elektrooniline polaarsus kaitse (Joonis 12). Polaarsuskaitse toetamiseks kasutasin väikese päritakistusega n-MOP-väljatransistorit DMS3015SSS ideaaldiooni konfiguratsioonis [15]. Paralleelselt on toitepistikuga ka ühendatud punane leed, mis valepidi ühendamisel süttib ja visuaalselt kasutajat eksimusest teavitab.

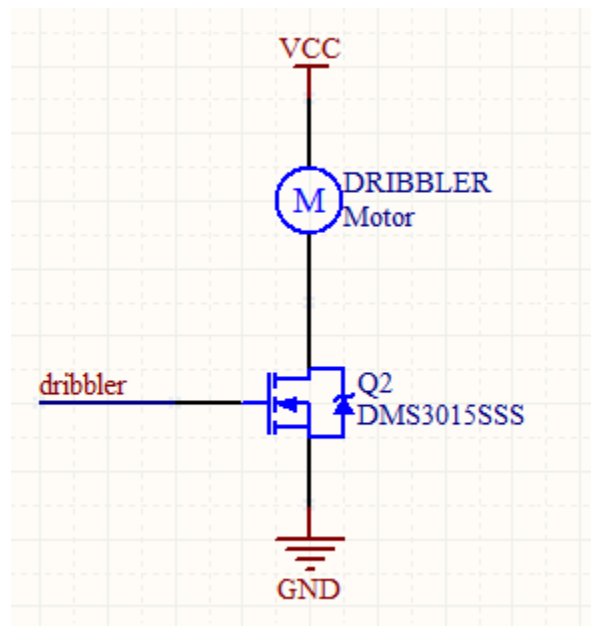
Vastupingestatud olukorras sulgub n-MOP-väljatransistori juhtivuskanal, mis omakorda skeemi maa-ühenduse akust elektriliselt lahti ühendab.



Joonis 12. Valepidise polaarsuse kaitse ja indikaatori skeem.

4.2.1.3. Mootori juhtimine

Triblamismootori juhtimiseks kasutasin n-MOP-väljatransistorit DMS3015SSS, mis 12 V toite liini külge ühendatud mootorit otse maaga ühendas (Joonis 13). n-MOP-väljatransistori paisu juhtisin otse lahtisidestuskiibi väljundist.



Joonis 13. Mootori juhtimise skeem.

4.2.2. Madalpinge osa

4.2.2.1. Galvaaniline lahtisidestamine arvuti suhtluse ja kõrgepinge vahel

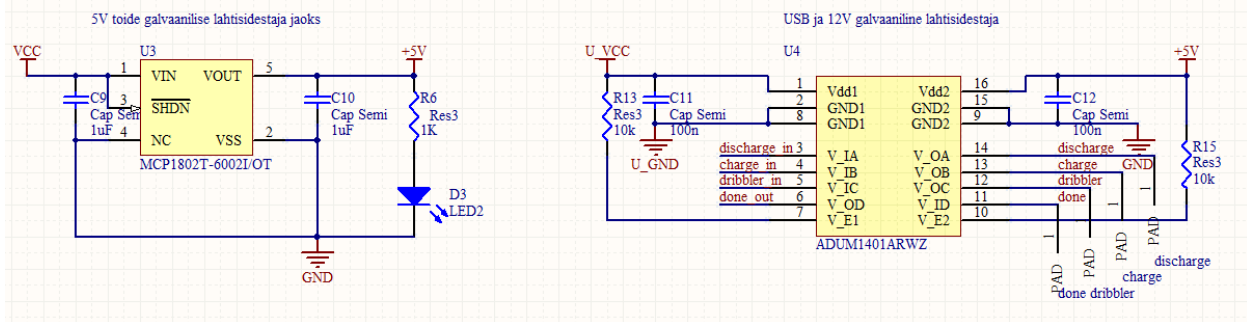
Eelnevatel aastatel on olnud elektroonikaga probleeme, kus vea korral on kogu kondensaatori pinge arvutisse edasi kandunud [16]. Selle vältimiseks on vaja arvuti ja roboti aku toide galvaaniliselt lahti sidestada. Galvaanilise lahtisidestuse juures on olulised kaks parameetrit: andmeedastuskiirus ja isolatsioonipinge. Kõige kiiremini muutuv signaal antud disainis on kondensaatori tühjendamissignaali, mis peab nõuete kohaselt minimaalselt 10 mikrosekundi jooksul olekut muutma. See seab minimaalseks andmevahetuskiiruseks 0.1 Mb/s. Nõuete kohaselt on ka tarvilik vähemalt 1000 V isolatsioonipinge ning selle saavutamiseks valisin kiibi ADUM1401ARWZ [17] (Joonis 14). ADUM1401ARWZ on isolatsioonikivi, mis on 4000 V isolatsioonipingega ja suuteline kuni 1Mb/s andmevahetuskiirusteks. See mikroskeem sisaldab nelja ühesuunalist suhtluskanalit: kolm väljundit ja ühte sisendit. Signaalide kirjeldus:

- Väljundsignaalid:
 - Laadimise signaal – laadimisskeemi sisend, mis kõrge signaali peale kondensaatori laadimist alustab ning madala signaali peale laadimise lõpetab.
 - Tühjendamise signaal – tühjendamisskeemi sisend, mis madala signaali peale kondensaatori läbi solenoidi tühjendab.
 - Mootori juhtimise signaal – impulssmoduleeritud nelinurksignaali
- Sisendsignaali:
 - Kondensaatori täitumise signaal – laadimiskivi väljund, mis kondensaatori täitumise peale madalaks seatakse.

ADUM1401ARWZ vajab toimimiseks mõlemale poole isolatsioonibarjääri toidet. Madalpinge poolel saab ta toidet USB siini toitepingest ning kuna ADUM1401ARWZ pingetaluvusvahemik on 2,7 V kuni 5,5 V on kõrgepinge pool lisatud pingeregulaator, mis 12 V sisendpingest vajaliku 5 V tekitab. 5 V siinile on ka paigutatud indikaatorleed.

Kuigi kõrgepinge osa kõik muud kiibid saavad toidet otse 12 V liini pealt ei tekita see probleeme, kuna laadimiskivi sisendite loogilise kõrge signaali tase on 0,87 V ning

laadimiskivi väljund on nn avatud neeluga ehk signaali kõrge oleku tase on määratav. Ühendades selle väljundi läbi kõrge väärtusega takisti (vähemalt 4,7 k Ω) 5 V liini külge saavutame soovitud signaalitasemed.

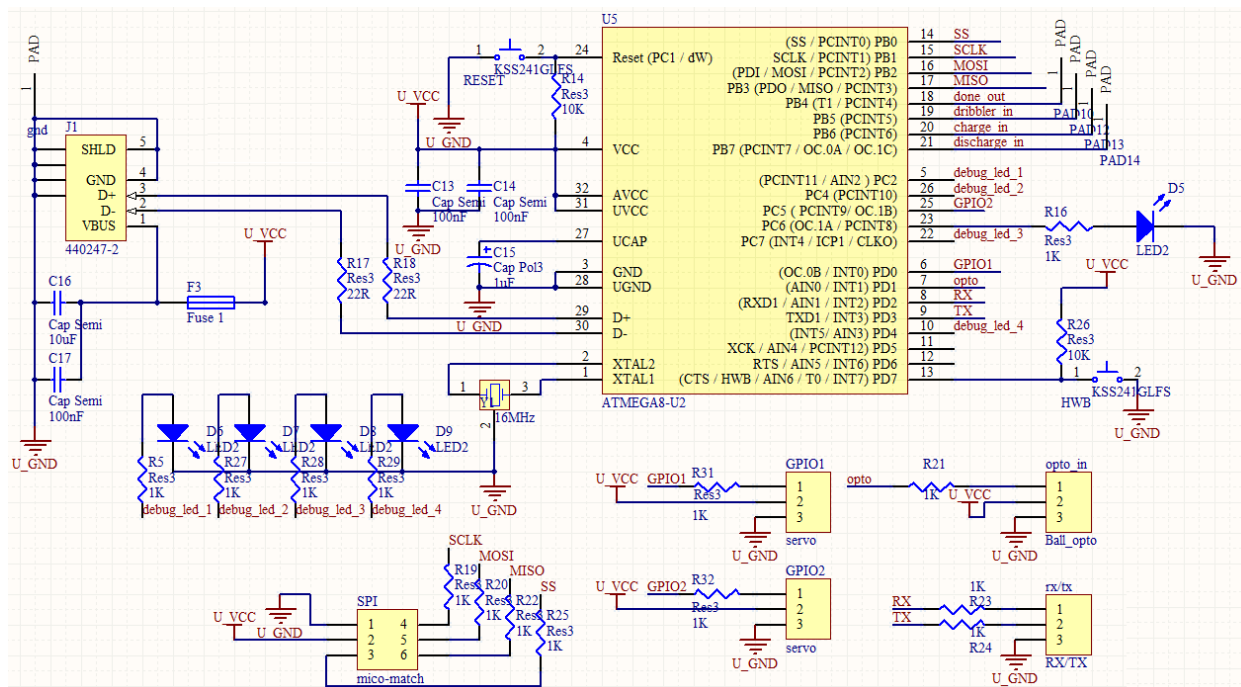


Joonis 14. Galvaanilise isolatsiooni skeem.

4.2.2.2. Suhtlus arvutiga

USB suhtlus arvutiga on realiseeritud kasutades ATMEGA8-U2 [18] mikrokontrollerit (Joonis 15). Tegemist on ATMEGA-U2 seeria väikseima mälumahuga mikrokontrolleriga. See toetab riistvaralist USB 2.0 suhtlust ja selle jaoks on olemas vabavaraline virtuaalse jadaliidese teek [19]. Virtuaalse jadaliidesega suhtlemine on võrreldes USB protokolliga palju lihtsam ning kõik populaarsed C-tüüpi keelte standardteegid juba sisaldavad jadaliidesega suhtlemise funktsionaalsust. Lisaks USB protokollile toetab see ka mitut muud üldlevinud suhtlusprotokolli nagu SPI (*Serial Peripheral Interface*) ja UART (*Universal asynchronous receiver/transmitter*).

ATMEGA8-U2 saab toite USB liidese kaudu. Arvuti kaitsmiseks on USB toide plaadi muude komponentidega ühendatud läbi taastuva voolukaitse. ATMEGA viikude külge on kokku ühendatud 5 indikaatorleedi ja välja on toodud SPI liidese ühendused, USART liidese ühendused ja ka kolm üldist sisend-väljundit koos toite ühendusega.

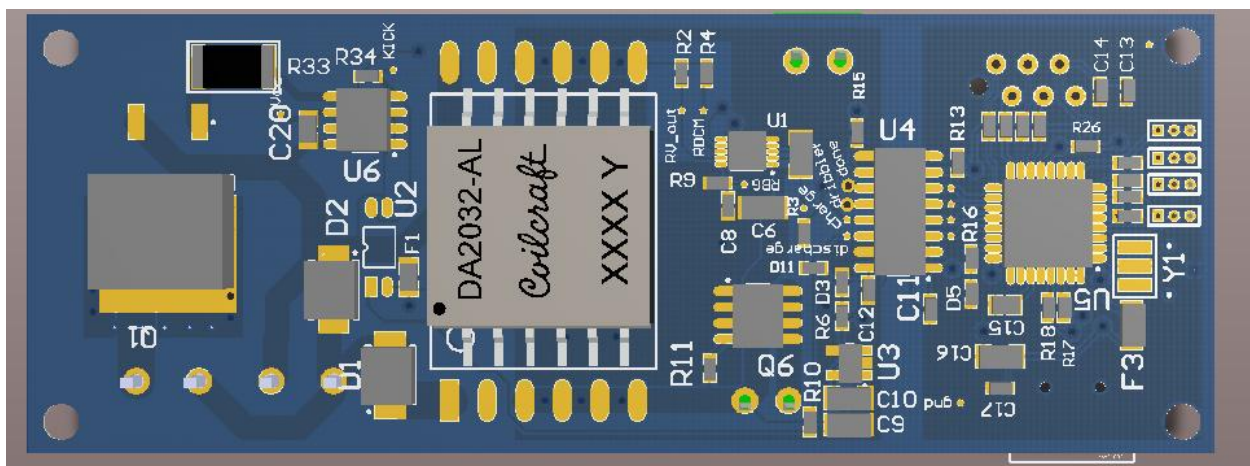


eraldatud vähemalt 4 mm laiuse isolatsiooni ribaga. 12 V alas kulgevad suured vooluimpulsid ning seega on komponentide ja ühenduste paigutused palju tähtsamad.

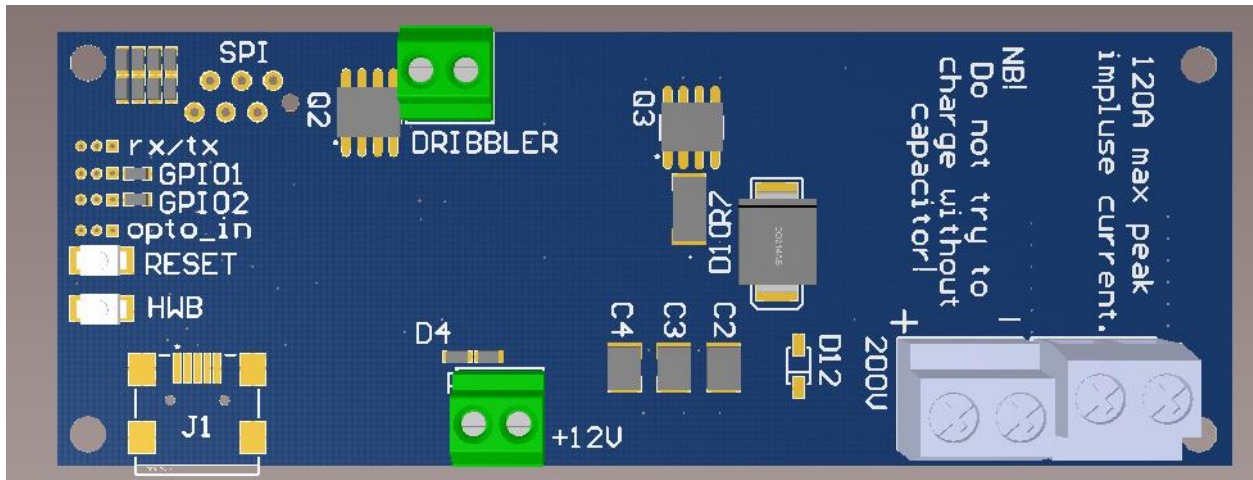
Kondensaatorite laadimise kiibi lahtisidestuskondensaatorid on toite jalgadele võimalikult lähedal ning toiterajad võimalikult lühikesed ja laiad. Laadimiskiibi tagasiside sisendite rajad ning takistid on eraldatud maa-alast 1,5 mm laiuse isolatsioonialaga, et vähendada lülitusmürade ülekostet. Samuti on lahtisidestuskondensaatorid asetatud otse transformaatori primaarmähiste jalgade kohale ning sama on tehtud ka lülitus-MOP-väljatransistoriga. Lisaks on kogu 12 V ala ülemine ja alumine külg täidetud maa-alaga, mis üksteisega tihedalt läbiviikudega ühendatud, tagades nii madala impedantsiga maa ühenduse kõikidele komponentidele.

200 V alas puudub maa-ala, et tõsta radadevahelist eraldust ning vähendada läbilöökide ohtu. Reaalset kõrget pinget kandvad rajad on võimalikult lühikesed ning võimalikult kaugel muudest radadest.

Altium Designer suudab tükkplaatidest 3D mudeleid genereerida. 3D modelid võimaldavad juba disainimise faasis kontrollida komponentide mehaanilist kokkusobivust ning lisaks on ka abiks mooduli integreerimisel robotite disaini (Joonis 16 ja Joonis 17).



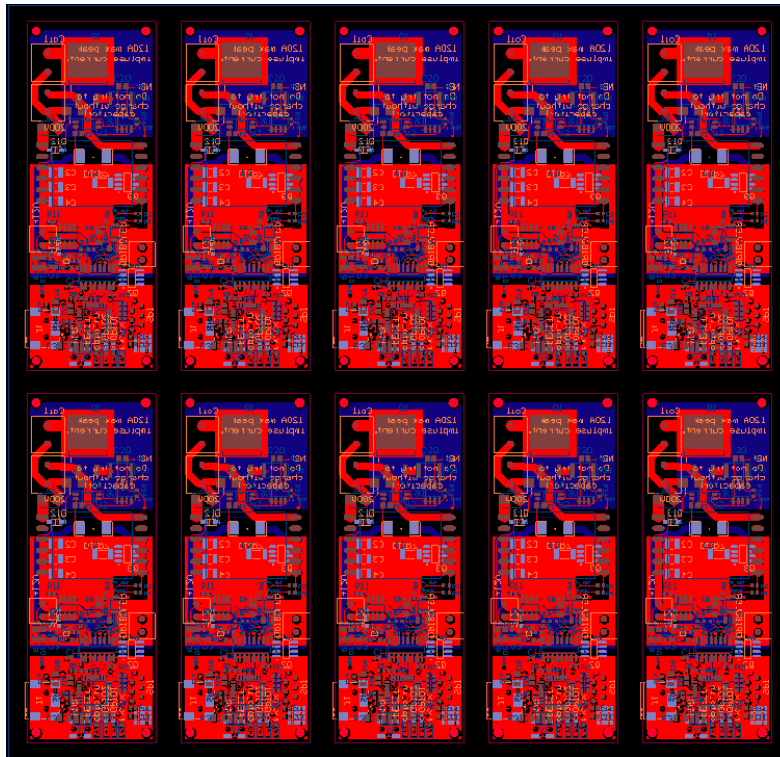
Joonis 16. Trükkplaadi alumise külje 3D mudel.



Joonis 17. Trükkplaadi ülemise külje 3D mudel.

4.4. Elektroonika tootmine

Valmis disainist genereerisin *gerber*-failid ning kasutades Altium Designeriga kaasa pandud tarkvarapaketti CAMtastic paneliseerisin disaini, et seda saaks trükkplaadi tehases toota. Trükkplaatide tootvad masinad suudavad töödelda vaid standardsuuruses toormaterjali. Juhul kui disain on toorikust väiksem läheb kasutamata ala raisku. Ressursside säästmiseks paigutatakse ühele toorikule disainist mitu koopiat, minimaliseerides nii materjalide kadu kui ka tootmiseks kuluvat aega. Paneliseeritud disaini (Joonis 18) saatsin Eestis trükkplaatide tootvasse firmasse Brandner ning komponendid (Tabel 3) tellisin firmast Farnell.



Joonis 18. Paneliseeritud disain.

Trükkplaatide kätte saamisel jootsin kõikikidele plaatidele peale komponendid. Alumisele küljele, kus kõige rohkem komponente, kasustasin komponentide jootmiseks tinapastat ja nn *reflow*-ahju, et vähendada tootmisele kuluvat aega. *Reflow*-ahjud on täpse ajalise temperatuuri profiiliga ahjud, mis võimaldavad samaaegselt joota komponente mitmele plaadile. Tinapasta kantakse plaadile komponentide jalajälgedele ning komponendid asetatakse pasta peale. Ahjus kuumutatakse terve trükkplaat ja kõik komponendid tina sulamise temperatuurini – sedasi joodetakse komponendid trükkplaadile. Plaatide ülemisele poolele jootsin komponendid käisitsi, kuna olemasolevate vahenditega pole hetkel võimalik ahjus mõlemale poole komponente joota.

Tabel 3. Ühe mooduli komponentide nimekiri ja maksumus.

Tootja mudelinumber	kirjeldus	kogus	tüki hind (€)	hind kokku (€)
MCP1802T-6002I/OT	5V LDO	1	0,39	0,39
ADUM1401ARWZ	galvaaniline lahtisidestaja	1	3,69	3,69
ATMEGA8U2	USB liidesega mikrokontroller	1	2,15	2,15
1734035-1	USB mini pesa	1	0,95	0,95
PBRC16.00HR50X0RZ	16MHz resonaator	1	0,65	0,65
B3U-1000P	SMD nupp	2	0,65	1,3
0805L020YR	Taastuv voolukaitse	2	1,55	3,1
LT3750	kondensaatori laadimiskivi	1	4,52	4,52
IRF7493PBF	n-MOSFET	2	0,59	1,18
MURS160	diod	2	0,14	0,288
DMS3015SSS	n-MOSFET	1	0,24	0,24
PT 1,5/2-PH-3.5	3.5 mm kruviterminal	2	0,55	1,1
MC000026	5 mm kruviterminal	2	0,17	0,346
puudub	Trükkplaat	33,25	0,59	19,6175
mitmed suurused	0603 pakis takisti	29	0,08	2,32
mitmed värvid	0603 pakis valgusdiod	8	0,09	0,72
06033G104ZAT2A	100nF kondensaator	6	0,04	0,21
TAJB106K020RNJ	10 uF tantaal kondensaator	2	0,30	0,6
C5750Y5V1E476Z	47 uF keraamiline kondensaator	3	1,12	3,36
MCPWR12FTEA1804	8 millioomine 2512 pakis takisti	1	0,11	0,109
DA2032-AL	1:10 Tansformaator	1	4,23	4,23
TC4426	asendus IGBT ajur	1	0,53	0,53
				51,6005

4.5. Testimine

Pärast trükkplaatide jootmist läbis iga plaat järgmise kontrolli:

- 1) Plaadi 12 V toitesse ühendati toiteploki 12 V kõigepealt tagurpidi ja siis õiget pidi.
- 2) Seejärel ühendati plaat USB liidese kaudu arvuti külge ning programmeeriti peale testimise jaoks tarkvara. Tarkvara on väikeste muutustega USB virtuaalse jadaliidese näidiskood. Tarkvara võimaldab käsurealt kõrgeks või madalaks lülitada iga ATMEGA väljundit ning lugeda kõikide sisendite väärtusi. Tarkvara töötamises veendumiseks lülitati käsurealt sisse ja välja kõik ATMEGA8U2 poolt juhitud leedid.

- 3) Järgnevalt ühendati kõrgepinge kondensaatori väljundisse 1 mF 400 V kondensaator ja solenoidi väljundisse üks solenoidkahur.
- 4) Siis lülitati plaadi 12 V sisendisse taas õigetpidi 12 V ning saadeti käsurealt täis laadimise käsk.
- 5) Seejärel mõõdeti multimeetriga kondensaatori pinget veendumaks, et õige pinge on saavutatud (200 V +/- 20 V).
- 6) Juhul kui õige pinge oli saavutatud saadeti käsurealt tühjaks laadimise käsk.
- 7) Juhul kui tühjaks laadimise käsu peale solenoidkahur löögi teostas korraldi eelmainitud täis laadimise ja tühjaks laadimise tsüklit 10 korda maksimaalselt 90 sekundi jooksul simuleerimaks võistlusolukorda.

Pärast kõikide testide edukat läbimist jagati plaadid kätte 2012. aasta Robootika praktikumi tudengitele.

4.5.1. Testimisfaasis tuvastatud vead

Esialgselt läbis kümnest valminud plaadist kõik testid vaid 3. Ülejäänud plaadid ei suutnud hakkama saada kondensaatori õigele pingele laadimisega. Soovitud 200 V asemel saavutasid need plaadid vaid umbes 60 V pinge. Visuaalsel vaatusel selgus, et kondensaatori laadimiskiibi üks jalgadest polnud korralikult kinni joodetud. Tegemist oli maa ühendusega, mis kinnitus otse maa-alaga. Madalama impedantsi saavutamiseks olin jätanud lisamata maa-alaga ühendamiseks soojasillad ning sellest tekkinud suur soojusmahtuvus muutis konkreetse maa ühenduse raskesti joodetavaks. Käsitsi jootekolbiga ühenduse üles kuumutamine lahendas probleemi ning kõik valminud elektroonikaskeemid läbisid testimisprotseduurid edukalt.

4.5.2. Kasutamisel ilmnenuv vead

Pärast löögimoodulite tudengitele kätte jagamist ilmesid vead, mis esialgsel testimisel välja ei tulnud. Kiiresti selgus, et valitud IGBT-tüürimise kivi MC33153 [20] minimaalne toitepinge oli 11,5 V ning robotite toiteallikad olid 3-elemendilised liitium-polümeerakud nimipingega 11,1 V. Täis laetud akude korral töötasid need skeemid tõrgeteta, kuid juba natukene tühjenenud akude pealt ei toimunud enam kondensaatori tühjaks laadimine. Õnneks leidis asenduskivi TC4426 [21], mis sobis muudatusteta eelmise kivi asemele ning asenduse tegemisel sai probleem lahendatud.

Järgmine probleem ilmnas, kui 12 V sisendisse toide ühendati olukorras, kus USB liides polnud arvutiga ühendatud. Nimelt muutus siis isolatsiooni kivi ebastabiilseks ning tema väljundud hakkasid suvaliselt võnkuma. Tulemuseks oli olukord, kus plaat üritas korraga kondensaatorit täis laadida ja tühjendada. Isolatsiooni kivi vajab kahte toidet ning ühe toite kadumisel muutub tema väljundite seis määramatuks. Antud probleemist teavitati kõiki meeskondi ning lahenduseks oli 12 V toite lüliti abil käsitsi välja lülitamine juhul kui plaat enam USB liidesest toidet ei saanud.

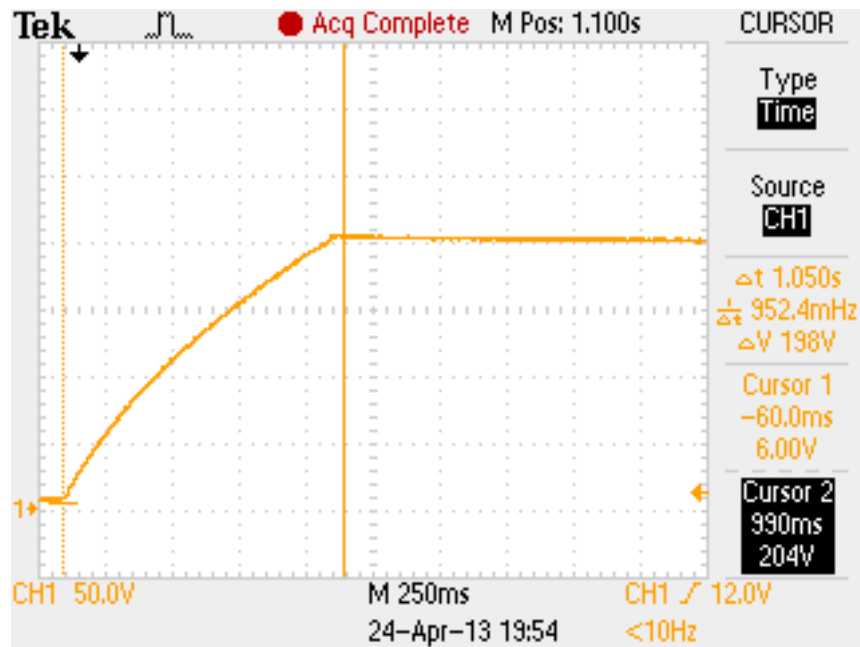
Kondensaatori tühjendamise osa disainimisel ei arvestanud ma seisuga, kus solenoidi pinget võib välja lülitada hetkel, kui vool veel solenoidi läbib. Küll aga näevad nõuded ette just sellist olukorda (nõue nr 8). Teada on, et induktiivsete koormuste toite äkiline välja lülitamine tekitab kõrgeid toiteallikaga vastupidise suunaga pingeid ning IGBT tüüpi pooljuhid tõkestavad vastupidist voolu, lubades nii solenoidi otstele tekkivat pinget väga kõrgeks kasvada. Tulemuseks on IGBT häving sisemise läbilöögi tõttu. Parandus on võrdlemisi lihtne: tuleb solenoidiga paralleelselt diod ühendada, mis tagurpidise voolu tagasi kondensaatorisse ning IGBT-st mööda juhiks. Selle vea tõttu hävines umbes 3 IGBT-d, kuid siiski ilmnas nimetatud puudujääk piisavalt kiiresti ning parandus sai sisse viidud enne, kui enamus meeskondi löögimoodulit kasutama jõudsid hakata. Paranduseks oli solenoidi pistiku jalgadele joodetud MURS-160 pindmonteeritav diod, mille jalajälg oli piisavalt väike, et ära mahtuda.

5. Tulemused ja arutelu

Käesoleva töö tulemusena valmis arvutijuhitav elektroonikalahendus jalgpalliroboti solenoidkahuri-põhisele löögimehhanismile (nõuded nr 1, 4 ja 7). Loodud lahendus suudab 1 mF kondensaatori 200 voldini täpsusega 5 V laadida 1 sekundi jooksul (Joonis 19) ja löögi pikkus on tarkvaraliselt varieeritav 3,5 mikrosekundiliste sammudega kuni 100 millisekundi pikkuseks [22] (nõuded nr 2 ja 8). Süsteemi tõrkekindluse tõstmiseks oli arvutimoodul galvaaniliselt lahti sidestatud (nõue nr 5) ning toite valepidi ühendamise eest kaitses moodulit ideaaldiodina toimiv väljatransistor (nõue nr 3).

Mooduli mõõtmed on 35 mm × 95 mm (nõue nr 11) ja kõik aktiivkomponendid on pindmontaažpakendites (nõue nr 10). Pallianduri IS471F suhtlemiseks on moodulil spetsiaalne pistik (nõue nr 13).

Lahendust kasutas 8 Tartu Ülikooli Robotexi meeskonda ning selle kasutamise käigus ei saanud vigastada ükski inimene ega robot (nõuded nr 6 ja 9) ja kõik lahendust kasutavad robotid suutsid võistlusel väravaid lüüa. Lahendust kasutas ka võistlusel 2. koha saavutanud Tartu Ülikooli meeskond Telliskivi 2.



Joonis 19. Ossilloskoobi ülesvõtte 1mF kondensaatori täis laadimisest.

Täitmata jäi nõue nr 12 – mootori juhtimine ei tööta. Mootori juhtimine ei olnud kriitiline nõue ning ajapuuduse tõttu jäi mootori juhtimise funktsionaalsus täielikult välja töötamata. Probleemiks oli valitud n-MOP-väljatransistori madal pingetaluvus ning mootori poolt tekitatud tagasipingete eest kaitse puudumine. Lahenduseks pakun välja, et tavalise n-MOP-väljatransistori asendada spetsiaalselt mootorite juhtimise jaoks loodud mikroskeemiga. Näiteks BD6231F [23], mille jalajälg on sama, kui n-MOP-väljatransistoril. Kuigi jalajälg on sama, pole nende kiipide viigud ühesuguse asetusega ja seega vajab vastav täiendus uut trükkplaadi versiooni.

Isolatsioonikiibi toiteprobleemide lahendamiseks pakun välja kasutada ADUM1401ARWZ asemel ISO7241 [24]. ISO7241 on ühilduv ADUM1401ARWZ jalajäljega aga lisaks on võimalus mõlema poole sisendeid vastava juhtsignaaliga sisse ja välja lülitada.

Lisades veel ühe ühekanalise isolaatorkiibi on võimalik USB toite kadumise puhul 12 V väljundid välja lülitada, vältides nii olukorda, kus isolatsioonikiibi väljundid on määramata olekus.

Kokkuvõttes on tegu võrdlemisi eduka lahendusega. Robotika praktikumi ja Robotexi näol on tegemist intensiivse kadalipuga ükskõik missugusele tehnikale ning selle edukalt läbimine on keeruline. Asjaolu, et valminud moodul oli töökindel kogu selle protsessi vältel, võib pidada tunnistuseks mooduli kvaliteedist. Sellegipoolest vajab moodul veel vähemalt ühte arendustsükklit, et viia sisse eespool soovitatud täiendused.

6. Kokkuvõte

Robotex on rahvusvaheline robotivõistlus, mille võistlusülesandeks on viimased kolm aastat olnud robotite-vaheline jalgpall. Tartu Ülikool osaleb Robotexil õppeaine Robootika praktikum raames. Enamik aine läbijaid puutuvad robootikaga kokku esmakordselt.

Selle töö eesmärgiks oli välja töötada jalgpalliroboti löögimehhanismi elektroonikamoodul, mida saab kasutada õppeaine Robootika praktikum läbiviimisel. Eesmärgi saavutamiseks uuriti erinevaid üldkasutatud löögimehhanisme ja valiti välja sobivaim. Valikust ning Robotexi võistlusreeglitest lähtuvalt püstitati moodulile nõuded ja nõuete täitmiseks disainiti trükkplaat.

Töö tulemusena toodeti disainitud elektroonikalahendusest 10 eksemplaari. Mooduleid testiti põhjalikult nii labori tingimustes kui ka reaalses võistluskeskkonnas. Elektroonikalahendus täitis kõik kriitilised nõuded. Välja töötatud moodulil ei esinenud tõrkeid robootikavõistlusel Robotex, kus kõik moodulit kasutanud robotid suutsid lüüa väravaid.

Moodul on üle USB juhitud soleenoidipõhise löögimehhanismi ajur, mida toidetakse välise kolmeelemendilise liitiumpolümeer akuga. Moodul on suuteline juhtima laia valikut solenoidkahurite ja kondensaatorite kombinatsioone. Selle kasutamine on piisavalt ohutu ja lihtne ka algajale robootikule.

Viited

- [1] Robotex, „Mis on Robotex,“ [Võrgumaterjal]. http://www.robotex.ee/robotexi_vajalikkus. [Kasutatud 2 veebruar 2013].
- [2] Robotex, „Robotex 2009,“ [Võrgumaterjal]. <http://www.robotex.ee/Ajalugu/2009>. [Kasutatud 2 veebruar 2013].
- [3] Robotex, „Robotex 2009 võistlusülesanne,“ [Võrgumaterjal]. <http://www.robotex.ee/ajalugu/2009/v%C3%B5istlus%C3%BClesanne>. [Kasutatud 3 märts 2013].
- [4] MSL Technical Committee, „Robocup Middle Size League 2009 official rules,“ 12 12 2008. [Võrgumaterjal]. <https://docs.google.com/file/d/0B6cdZrEa8IsWNzJINjMzZDctNTY2YS00NzJkLTgzMjUtYjUyODZiNDk4MDRh/edit>. [Kasutatud 27 02 2013].
- [5] Robotex, „Professionaalide jalgpalli osalejad tulemused,“ [Võrgumaterjal]. <http://www.robotex.ee/node/2599/>. [Kasutatud 4 märts 2013].
- [6] Robotex, „Jalgpall professionaalidele ja algajatele,“ [Võrgumaterjal]. http://www.robotex.ee/robotex_2012/reeglid/jalgpall. [Kasutatud 4 märts 2013].
- [7] S. Stancliff, „Evolution of Active Dribbling Mechanisms in RoboCup,“ 25 aprill 2005. [Võrgumaterjal]. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.87.2173&rep=rep1&type=pdf>. [Kasutatud 4 märts 2013].
- [8] C. Zandsteeg, „Design of a Robocup Shooting Mechanism,“ [Võrgumaterjal]. <http://repository.tue.nl/612497>. [Kasutatud 2 veebruar 2013].
- [9] B. B. M. M. V. Jeremy Searock, „Segway CMBalance Robot Soccer Player,“ Carnegie Mellon University, 2004.
- [10] Sharp, „OPIC Light Detector with Built-in Signal Processing Circuit for Light Modulation System,“ [Võrgumaterjal]. <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/0029/0900766b800298a8.pdf>. [Kasutatud 22 aprill 2013].
- [11] Linear Technology, „Capacitor Charger Controller,“ [Võrgumaterjal].

- <http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/3750fa.pdf>. [Kasutatud 20 veebruar 2013].
- [12] J. A. O'Connor, „IGBT DRIVE USING MOSFET GATE DRIVER,“ [Võrgumaterjal]. <http://www.ti.com/lit/an/slva169/slva169.pdf>. [Kasutatud 16 aprill 2013].
- [13] International Rectifier, „Insulated Gate Bipolar Transistor,“ [Võrgumaterjal]. <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/aurgs30b60k.pdf>. [Kasutatud 13 märts 2013].
- [14] ON Semiconductor, „Single IGBT Gate Driver,“ [Võrgumaterjal]. <http://www.farnell.com/datasheets/7446.pdf>. [Kasutatud 13 märts 2013].
- [15] Diodes Inc., „N-Channel Enhancement Mode MOSFET with Schottkey Diode,“ [Võrgumaterjal]. <http://www.diodes.com/datasheets/ds32096.pdf>. [Kasutatud 13 märts 2013].
- [16] Team Nasty, „Nasty logi 23. nov,“ [Võrgumaterjal]. http://digi.physic.ut.ee/mw/index.php/Nasty_logi#23._nov. [Kasutatud 20 veebruar 2013].
- [17] Texas Instruments, „1-Mbps Quad Digital Isolators,“ [Võrgumaterjal]. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/iso7240a.pdf>. [Kasutatud 13 märts 2013].
- [18] Atmel, „8-bit AVR Microcontroller with 8/16/32K Bytes of ISP Flash and USB Controller,“ [Võrgumaterjal]. <http://www.atmel.com/Images/doc7799.pdf>. [Kasutatud 20 veebruar 2013].
- [19] PJRC, „USB: Virtual Serial Port,“ [Võrgumaterjal]. http://www.pjrc.com/teensy/usb_serial.html. [Kasutatud 13 märts 2013].
- [20] „Single IGBT Gate Driver,“ ON Semiconductor, [Võrgumaterjal]. http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/on_semiconductor/MC33153-D.PDF. [Kasutatud 15 aprill 2013].
- [21] „1.5A Dual High-Speed Power MOSFET Drivers,“ Microchip, [Võrgumaterjal]. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21422D.pdf>. [Kasutatud 15 aprill 2013].
- [22] TÜ Digilabor, „Coilguni moodul,“ [Võrgumaterjal]. http://digi.physic.ut.ee/mw/index.php/Coilguni_moodul. [Kasutatud 22 aprill 2013].
- [23] ROHM, „H-bridge drivers,“ [Võrgumaterjal]. <http://www.farnell.com/datasheets/389121.pdf>. [Kasutatud 29 aprill 2013].

- [24] Texas Instruments, „High Speed Quad Digital Isolators,“ [Võrgumaterjal].
<http://www.farnell.com/datasheets/1633680.pdf>. [Kasutatud 1 mai 2013].
- [25] Robocup Federation, „Middle Size League,“ 16 jaanuar 2013. [Võrgumaterjal].
http://wiki.robocup.org/wiki/Middle_Size_League. [Kasutatud 18 veebruar 2013].
- [26] PJRC, „USB: Virtual Serial Port,“ [Võrgumaterjal].
http://www.pjrc.com/teensy/usb_serial.html. [Kasutatud 20 veebruar 2013].
- [27] Digilabori wiki, „Liikumismoodul2012,“ [Võrgumaterjal].
<http://digi.physic.ut.ee/mw/index.php/Liikumismoodul>. [Kasutatud 4 3 2013].
- [28] Analog Devices, „Quad-Channel Digital Isolators,“ [Võrgumaterjal].
http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADuM1400_1401_1402.pdf.
[Kasutatud 4 märts 2013].
- [29] Diodes Inc., „1.0A Surface Mount Super-Fast Rectifier,“ [Võrgumaterjal].
<http://www.diodes.com/datasheets/ds30130.pdf>. [Kasutatud 13 märts 2013].

Abstract

Driver circuit for a kicking mechanism of a football robot

Kalle-Gustav Kruus

Changes made to the organization of the course Practical Work in Robotics (LOFY.03.033) necessitated the development of so called robotics modules – functional, standardized and well documented parts of a football-robot. This thesis describes the annual international robotics competition Robotex and its rules. The modules needed to assemble a robot that is capable of competing at Robotex are also outlined and an in-depth overview of the most popular kicking mechanisms used in robot football is provided.

The purpose of this thesis is to develop and produce one of the aforementioned modules - a driver circuit of an electronic kicking mechanism to be used by a football robot. The finished module will be used by beginner robot builders taking the course Practical Work in Robotics.

This thesis provides a detailed description of the development and production of a kicking mechanism driver module. In total 10 copies were produced and 8 were used by the robots of the students of University Tartu that competed at Robotex 2012. All 8 robots scored multiple goals at the competition and one of the teams achieved second place.

The produced module is a driver for a solenoid based kicking mechanism that is capable of driving a large variety of coil and capacitor combinations. The module is powered by a 3-cell lithium-polymer battery and controllable via USB. The battery input of the module is reverse-bias protected and it can charge a capacitor with a capacitance of 1 mF to 200 V in less than 1 second. During discharge the module can withstand up to 50 A of continuous current. The length of kick is variable by increments of 3.5 microseconds up to a length of 100 milliseconds.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina Kalle-Gustav Kruus (sünnikuupäev: 25.09.1990)

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

JALGPALLIROBOTI LÖÖGIMEHCHANISMI ELEKTROONIKALAHENDUS,

mille juhendaja on Karl Kruusamäe ,

1.1.reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2.üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, **13.05.20**